

REICE
Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas
Abriendo Camino al Conocimiento
Facultad de Ciencias Económicas, UNAN-Managua

Vol. 8, No. 15, Enero – Junio 2020

REICE

ISSN: 2308-782X

REICE
152

<http://revistacienciaseconomicas.unan.edu.ni/index.php/REICE>
revistacienciaseconomicas@gmail.com

Evaluación empírica de la Curva Ambiental de Kuznets para e Nicaragua considerando la Ley No. 217, en el período 1980 – 2014.

Empirical evaluation of the Kuznets Environmental Curve for Nicaragua considering Law No. 217, in the period 1980-2014.

Fecha recepción: abril 29 del 2020
Fecha aceptación: mayo 28 del 2020

Albert William Arostegui Moreno.
Universidad Autónoma de Nicaragua, UNAN – Managua.
Correo: all_5396@hotmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0549-6810>

Junieth Andrea Baltodano Jiménez.
Universidad Autónoma de Nicaragua, UNAN – Managua.
Correo: junieth97@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2789-3051>

[DOI 10.5377/reice.v8i15.9951](https://doi.org/10.5377/reice.v8i15.9951)



Derechos de autor 2018 REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas. Esta obra está bajo licencia internacional [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Copyright (c) Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas de la Unan- Managua

Resumen.

El eje principal del presente artículo es evaluar la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) mediante modelos cuantitativos para el caso de Nicaragua en el período de 1980 – 2014, considerando el efecto de la Ley No. 217 — Ley General del Ambiente y los Recursos Naturales. Como indicador de deterioro ambiental se utilizó la variable de las emisiones de CO₂ per cápita (kg/hab), y el indicador de crecimiento económico fue el PIB per cápita (US\$ a precios corrientes); además, para capturar el efecto de la Ley No. 217 e incorporarlo en los análisis de regresión, se creó una variable binaria (0 de 1980 a 1996 y 1 de 1997 a 2014) y la interacción de ésta con el logaritmo natural del PIB per cápita. Tanto al considerar a la variable dicotómica y al término de interacción en los modelos, como en el caso de omitirlas, no se rechazó la CAK; sin embargo, la diferencia fue el ingreso por persona crítico, pues en el primer caso el umbral se alcanza con US\$1 191 y en el segundo, con US\$2 283.

Palabras claves: Modelos de regresión, curva ambiental de Kuznets, Ley No. 217 de Nicaragua, crecimiento y desarrollo económico, emisiones de dióxido de carbono.

Abstract

The main axis of this article is to evaluate the hypothesis of the Kuznets Environmental Curve (CAK) by means of quantitative models for the case of Nicaragua in the period of 1980-2014, considering the effect of Law No. 217 General General Law of the Environment and Natural Resources. As an indicator of environmental deterioration, the variable of CO₂ emissions per capita (kg / hab) was used, and the indicator of economic growth was GDP per capita (US \$ at current prices); In addition, to capture the effect of Law No. 217 and incorporate it into the regression analyzes, a binary variable was created (0 from 1980 to 1996 and 1 from 1997 to 2014) and its interaction with the natural logarithm of GDP per Capita. Both when considering the dichotomous variable and the term of interaction in the models, as well as in the case of omitting them, the CAK was not rejected; however, the difference was the income per critical person, since in the first case the threshold is reached with US \$ 1,191 and in the second, with US \$ 2,283.

Keywords: Regression models, Kuznets environmental curve, Nicaraguan Law No. 217, economic growth and development, carbon dioxide emissions.

Introducción

El presente artículo¹ aborda el tema de la relación entre las actividades económicas y la calidad ambiental, partiendo de la siguiente pregunta: ¿El crecimiento económico implicaría un deterioro continuo y creciente sobre el medio ambiente? Para analizar este tipo de problemas seriamente, se debe partir de los datos disponibles sobre la temática. Por ejemplo, si se revisan los resultados del Índice de Desempeño Ambiental 2018 realizado por la Universidad de Yale (2018), se observa que los países desarrollados y con tradición de libre mercado tienen los mejores puntajes, siendo Suiza (87.42 puntos²), Francia (83.95 puntos) y Dinamarca (81.6 puntos) los que encabezan la clasificación.

REICE
154

Entonces, no necesariamente el crecimiento y/o el desarrollo económico implican inexorablemente un deterioro creciente de los ecosistemas o el medio ambiente. De hecho, la relación entre estos aspectos puede ser positiva a largo plazo, lo cual se puede fundamentar en los hallazgos empíricos de una correlación en forma de U invertida comúnmente llamada Curva Ambiental de Kuznets (en adelante CAK) (Gitli & Hernández, 2002).

Entre estos trabajos, se destaca el de Grossman y Krueger (1995), en el cual examinaron la relación entre la evolución del ingreso per cápita con cuatro indicadores de deterioro ambiental: contaminación del aire urbano, contaminación fecal, estado del régimen de oxígeno y la contaminación por metales pesados en las cuencas hidrográficas de Estados Unidos. Los investigadores concluyeron que no hay evidencia sobre la afirmación de un continuo deterioro ambiental debido al crecimiento económico. En cuanto al punto de inflexión, para los diferentes contaminantes tomados en cuenta varía; sin embargo, en la mayoría de los casos ocurre antes de que se alcance un ingreso per cápita de US\$8 000.

¹ Cabe señalar que el artículo se basa del trabajo monográfico de los autores para optar al título de licenciados en Gerencia Ambiental y de los Recursos Naturales.

² El puntaje va de 0 – 100.

Por otra parte, Nicaragua ha tenido cierto crecimiento desde 1993 a 2017, donde el sector primario aún tiene gran protagonismo en la estructura económica, específicamente las actividades agropecuarias. Siendo éstas las más señaladas de provocar problemas ambientales como la disminución de los bosques, contaminación de las aguas, emisiones de gases de efecto invernadero, degradación y erosión de los suelos, entre otros.

Cabe señalar que el país cuenta con la Ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (en adelante simplemente Ley 217), de la cual se basan las políticas y programas ambientales. Es decir, existen medidas restrictivas que promueven la conservación y protección de los recursos naturales, pero de forma empírica se desconoce su influencia sobre la relación entre el crecimiento económico y el deterioro ambiental.

Dicho lo anterior, el artículo tiene como objetivo analizar, mediante regresión lineal múltiple, la relación entre las emisiones de dióxido de carbono (en adelante CO₂) per cápita con respecto al crecimiento económico, considerando la influencia de la Ley 217. De manera que, dados los resultados de las regresiones se compruebe o no la hipótesis de la CAK.

Material y Método

Para la consecución de este trabajo, se consideró como variable de *deterioro ambiental* a las emisiones de CO₂ per cápita (kg/hab) de Nicaragua, cuya información estadística se obtuvo de la base de datos del Banco Mundial³ (BM). Por otro lado, el PIB per cápita (US\$ a precios corrientes) es el indicador de *crecimiento económico*, dicha serie se obtuvo de la base de datos del Banco Central de Nicaragua (BCN).

³ Es importante señalar, que los datos del Banco Mundial sobre las emisiones de CO₂ per cápita para Nicaragua (1980 – 2014) fueron consultados nuevamente el 6 de junio de 2020 para realizar el presente artículo. En esta revisión, los datos difieren en promedio menos del 1% con respecto a los de 2019, con los cuales se trabajó en la monografía; por tanto, al ser una diferencia pequeña, no habría cambios sustanciales en los resultados y conclusiones en las diferentes pruebas estadísticas.

Para capturar aproximadamente el efecto de la Ley 217 se creó una variable binaria que toma el valor de 0 de 1980 a 1996 y 1 de 1997 a 2014, así como su interacción con el logaritmo natural del PIB per cápita. Cabe señalar que el período en análisis comprende de 1980 a 2014 (en otras palabras 35 observaciones).

Grossman y Krueger (1995), sugieren que la expresión para estimar la CAK, es la siguiente:

$$E_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_t + \alpha_2 X_t^2 + \alpha_3 X_t^3 + \sum_{j=1}^i \beta_j Z_{j,t} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde:

E = Indicador de deterioro ambiental.

X = Indicador de crecimiento económico (usualmente el PIB per cápita).

Z_j = Conjunto (vector) de variables que pueden incidir en el deterioro ambiental (políticas, densidad poblacional, consumo de energía, entre otras).

α_m y β_j = Coeficientes de regresión.

ε = Término de error.

t = Relativo al tiempo.

El comportamiento de U invertida entre el indicador del contaminante y el de crecimiento económico se explica por la evolución de la estructura de la economía de un país, las políticas ambientales; asimismo, el desarrollo tecnológico.

Panayotou (1993, citado en Panayotou, 2003) expone que si la agricultura, la extracción de recursos y el sector industrial empieza a despegar, el deterioro ambiental incrementará por el agotamiento de los bienes naturales y la generación de residuos. Sin embargo, a mayores niveles de desarrollo, el cambio estructural hacia una economía tercerizada (servicios e información), tecnología más eficiente, así como una mayor demanda de calidad ambiental, resultaría en una nivelación y disminución de la degradación ambiental.

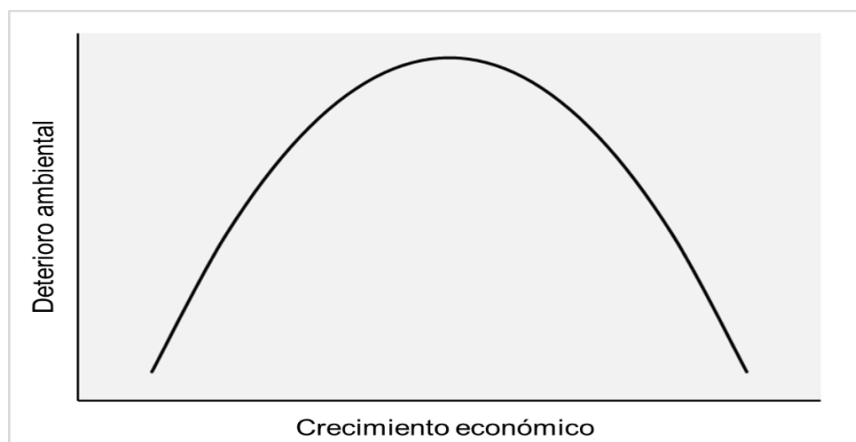


Figura 1. Curva Ambiental de Kuznets: Relación crecimiento - deterioro ambiental.

Elaboración propia.

Con el fin de comprobar la CAK para Nicaragua, se estimaron los siguientes modelos:

$$\ln \hat{Y}_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln X_t + \beta_1 L_t + \beta_2 Z_t + \hat{\mu}_t \quad (2)$$

$$\ln \hat{Y}_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln X_t + \alpha_2 \ln^2 X_t + \beta_1 L_t + \beta_2 Z_t + \hat{\mu}_t \quad (3)$$

$$\ln \hat{Y}_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln X_t + \alpha_2 \ln^2 X_t + \alpha_3 \ln^3 X_t + \beta_1 L_t + \beta_2 Z_t + \hat{\mu}_t \quad (4)$$

Donde:

\hat{Y} = Estimación de las emisiones de CO₂ per cápita (kg/hab).

X = PIB per cápita (en US\$ a precios corrientes).

L = Variable binaria que representa a la Ley No. 217 – Ley General del Ambiente y los Recursos Naturales (0 de 1980 – 1996 y 1 de 1997 – 2014).

Z = Interacción entre la variable binaria y el logaritmo natural del PIB per cápita ($L_t * \ln X_t$).

$\alpha_0, \dots, \alpha_3, \beta_1$ y β_2 = Coeficientes de regresión.

$\hat{\mu}$ = Término de error.

t = Relativo al año de la observación o dato.

\ln = Logaritmo natural o neperiano.

De manera que si (2) o (3) resulta el modelo más óptimo estadísticamente y el coeficiente principal con respecto a $\ln X_t$ es negativo y significativo, no se rechazará el comportamiento de U invertida que propone la CAK. Cabe resaltar, que se consideraron los modelos omitiendo las variables L_t y Z_t con el fin de visualizar su efecto. En cuanto al

(los) punto(s) de inflexión, se calcula mediante los criterios de la derivada para encontrar máximos o mínimos.

Análisis estadístico.

Para estimar los *modelos de regresión lineal múltiple*, se utilizó el método de *Mínimos Cuadrados Ordinarios* (MCO), que trata, básicamente, de minimizar la suma de los errores al cuadrado. Es decir, si se considera (en este contexto) que:

$$f(\alpha_0, \dots, \alpha_3, \beta_1, \beta_2) = \sum \hat{\mu}_t^2 = \sum (\ln Y_t - \ln \hat{Y}_t)^2 \quad (5)$$

Donde Y_t son las observaciones reales, el objetivo es $\text{Min } \{f = \sum \hat{\mu}_t^2\}$ de manera que se obtendrán los coeficientes de la regresión que mejor se ajuste a las observaciones. Además, para considerar al modelo como eficiente, los errores deben cumplir ciertos requisitos (Gujarati & Porter, 2010), entre los más importantes se tiene:

- ✓ Homocedasticidad o varianza constante. Para verificar que no hay heterocedasticidad (lo opuesto), se aplicó la *prueba de White*.
- ✓ No autocorrelación. Para detectar si ese problema está presente se realizó la *prueba de Breusch– Godfrey*.
- ✓ Normalidad o distribución normal. Para comprobarlo se empleó la *prueba de Jarque – Bera*.

Por supuesto, se realizaron las *pruebas F y t* típicas, con el fin de determinar si los coeficientes son significativos en su conjunto, así como, individualmente. Además, el mejor modelo se identificó mediante el Criterio de Información de Schwarz (CIS):

$$CIS = 1 + \ln(2\pi) + \ln\left(\frac{\sum \mu_t^2}{n}\right) + \frac{k+1}{n} \ln(n) \quad (6)$$

Donde:

n = Número de observaciones de la muestra.

k = Número de regresoras del modelo.

Dicho criterio establece que el mejor modelo es aquel con el menor valor. También se tomó en cuenta el coeficiente de determinación ajustado de Henry Theil (\bar{R}^2), para dar una medida de cuánto en su conjunto las variables independientes explican a la variación de las emisiones de CO₂ per cápita en la regresión más óptima según el CIS.

Ahora bien, considerando que las variables utilizadas para dicho análisis son series de tiempo, se corre el riesgo de que la regresión sea espuria si éstas no son estacionarias (Gujarati & Porter, 2010). Con el propósito de comprobar si existe o no raíz unitaria se empleó la *prueba de Dickey – Fuller aumentada* (DFA), la cual se estima en tres formas: Caminata aleatoria:

$$\Delta W_t = \delta W_{t-1} + \sum_{i=1}^q \psi_i \Delta W_{t-i} + \varepsilon \quad (7)$$

Caminata aleatoria con deriva:

$$\Delta W_t = C_0 + \delta W_{t-1} + \sum_{i=1}^q \psi_i \Delta W_{t-i} + \varepsilon \quad (8)$$

Caminata aleatoria con deriva y tendencia:

$$\Delta W_t = C_0 + C_1 T + \delta W_{t-1} + \sum_{i=1}^q \psi_i \Delta W_{t-i} + \varepsilon \quad (9)$$

Donde Δ es el operador de primeras diferencias, W la serie en análisis, T la tendencia, ε el término de error; por último, como los coeficientes de la regresión auxiliar C_0 , C_1 , δ y ψ_i . Para que dicha prueba sea válida, no debe haber correlación serial⁴ en los errores de la regresión auxiliar; por otra parte, si el **coeficiente δ es positivo**, esto supone que la serie de ninguna manera será estacionaria (en teoría).

Por otra parte, se comparó el CIS entre las variantes de la prueba (lógicamente que cumplan con las condiciones ya mencionadas), para identificar aquella con la cual definir si la serie presenta o no raíz unitaria.

En el caso de que las variables sean no estacionarias, la relación puede ser significativa si existe **cointegración**. Con el fin de verificar si las variables cointegran, se realizó el procedimiento de Engle – Granger, el cual consiste en lo siguiente:

⁴ En la práctica se considera que no hay autocorrelación en la regresión auxiliar si el estadístico Durbin–Watson (DW) se sitúa entre 1.85 – 2.15, o bien se puede corroborar con correlogramas u otras pruebas.

1. Constatar si las variables están integradas en el mismo orden. Por ejemplo: $\ln Y_t, \ln X_t \sim I(1)$.
2. Estimar la regresión entre las series y obtener sus residuos.
3. Emplear prueba DFA sobre los residuos, de manera que existirá cointegración si el orden de integración de éstos, es menor al de las series. Por ejemplo: si $\ln Y_t, \ln X_t \sim I(1)$, entonces los residuos deben ser $I(0)$ para considerarse como una **regresión cointegrante**.

En una relación entre series no estacionarias, el concepto de cointegración es importante; ya que, de existir, implicaría una **relación de equilibrio**, lo cual estadísticamente se traduce en una regresión significativa entre las variables; asimismo, se validan las pruebas F y t usuales en el método de MCO (Gujarati & Porter, 2010).

Para agilizar las estimaciones y realizar las gráficas, se hizo uso de programas como EViews 10, Excel y GeoGebra Clásico 6.

Resultados y Análisis

Antes de presentar los resultados se hará una breve descripción de las variables.

PIB per cápita.

Como indicador de crecimiento económico se utilizó el PIB per cápita a precios corrientes (en US\$), el cual se define como la razón entre el valor monetario (tasado en el mercado) de todos los bienes y servicios que son producidos en determinado período y la cantidad de habitantes en un país (Nicaragua en este caso) (Dornbusch, Fischer & Startz, 2009). Cabe señalar, que los valores tomados en cuenta en los análisis de regresión son los logaritmos naturales de la serie.

Tabla 1. Actividades económicas con mayor participación porcentual en el PIB nominal.

Actividad económica	2006	2008	2010	2012	2014	2015	2016	2017
Agricultura	10.1	9.9	9.7	*16.5	9	8.3	7.7	8
Comercio	16.7	16.9	16.6	*12.6	11.6	11	11	10.9
Industria manufacturera	19.1	19.4	19.9	16.3	14.1	14.2	13.8	13.7
Pecuario	7.1	7.2	8	-	6.3	6	5.5	5.5
Transporte y comunicaciones	7.5	7.8	8	6.2	5.1	5.2	5.4	5.3

Elaboración propia basada en los informes "Nicaragua en Cifras" del BCN 2010, 2013, 2015 y 2017.

Nota: El dato con asterisco para la agricultura en el año 2012 incluye la silvicultura, ganadería y pesca. El dato con asterisco para el comercio indica que también contiene información sobre actividades hoteleras y de restaurantes.

REICE
161

En la tabla 1, se puede observar que en Nicaragua los principales rubros son la industria manufacturera, el comercio y la agricultura en términos de la distribución porcentual del PIB. También se destaca, que prácticamente en los últimos años la estructura económica se mantiene, esto es, no hay cambios sustanciales.

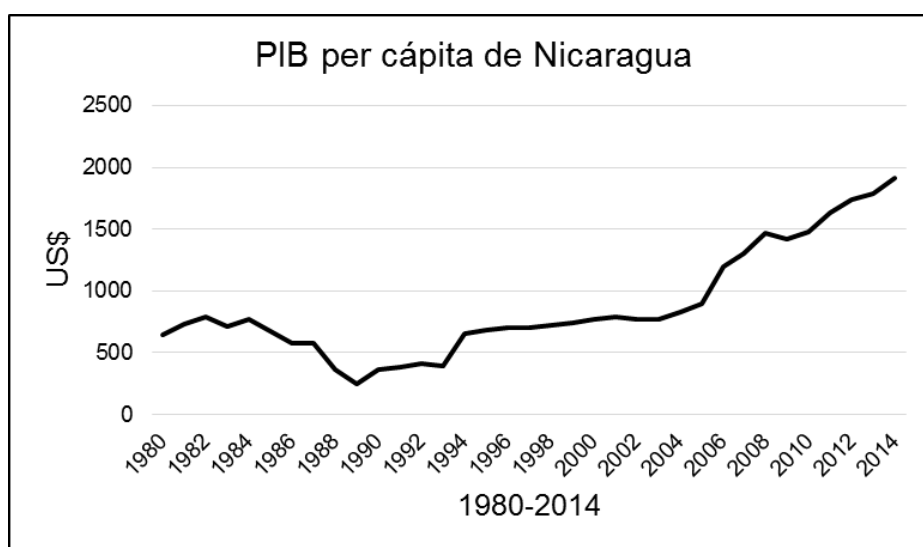


Figura 2. Evolución del PIB per cápita (US\$ a precios corrientes) de Nicaragua (1980 – 2014).

Elaboración propia con datos del Banco Central de Nicaragua.

En la figura 2 se puede observar que a mediados de los 80, el PIB per cápita decrece, esto se debió al modelo económico implementado, además de los conflictos sociopolíticos en el país. Luego, en los 90 se emplearon reformas para liberalizar la economía (Rodríguez, 2014), lo cual conllevó a que Nicaragua tuviese una tendencia creciente después de 1993.

En este período se debe considerar la crisis bancaria 2000 – 2001, la cual contribuyó (entre otros factores) a la recesión en el año 2002. Asimismo, hubo una contracción en el 2009, a causa del impacto de la desaceleración de la economía mundial, remesas, inversión extranjera directa, cooperación externa y volatilidad en los precios de los alimentos y petróleo entre 2007 – 2008 (Vargas & García, s.f.).

Tabla 2. Pruebas DFA sobre los logaritmos naturales del PIB per cápita.

Prueba DFA sobre variable a nivel $\ln X_t$					
Forma	Rezagos	DW	CIS	Estadístico τ	Valor crítico 5%
CT	1	2.1	-0.5154	-2.0255	-3.553
C	1	2.01	-0.4252	-0.2967	-2.954
N	1	2.01	-0.527	0.8292	-1.9513
Prueba DFA sobre variable en primeras diferencias $\Delta \ln X_t$					
Forma	Rezagos	DW	CIS	Estadístico τ	Valor crítico 5%
CT	0	2.03	-0.489	-5.3418	-3.553
C	0	2.01	-0.5282	-5.0641	-2.954
N	0	2.02	-0.611	-5.0136	-1.9513

Nota: "CT" con deriva y tendencia, "C" con deriva sin tendencia y "N" sin deriva y sin tendencia.

Como se puede apreciar en la tabla 2, la serie de los logaritmos naturales del PIB per cápita es no estacionaria de orden 1, o sea $I(1)$. A nivel, ningún estadístico de prueba es menor a los valores críticos para una significancia del 5%; sin embargo, en primeras diferencias, sí lo son.

Emisiones de CO₂ per cápita.

Como indicador de *deterioro ambiental* se utilizó la variable de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por persona; ya que, dicha molécula se considera como uno de los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI). Este compuesto, está constituido con dos átomos de oxígeno y uno de carbono: **O=C=O** (Medina, 2010).

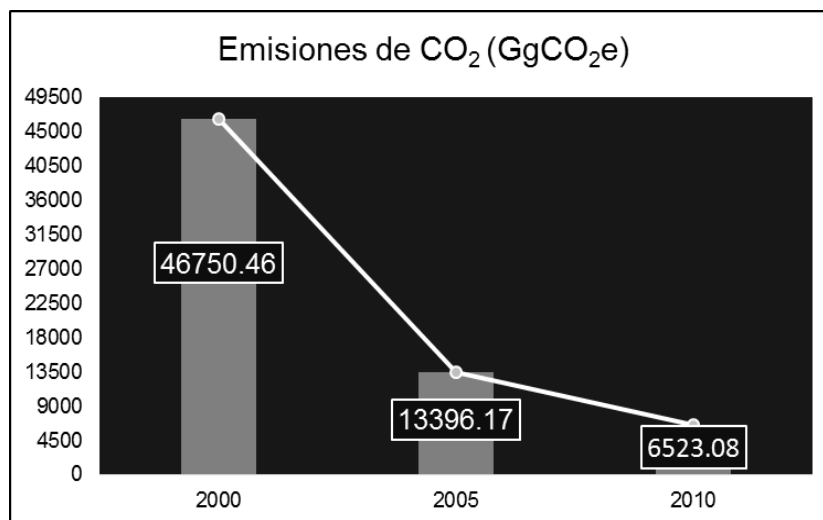


Figura 3. Emisiones de CO₂ de Nicaragua.

Elaboración propia basada en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, 2010.

Como se puede apreciar en la figura 3, según el Inventario Nacional de GEI (2010), la tendencia de las emisiones de CO₂ es decreciente, con una disminución del 86.05% aproximadamente, entre el año 2000 y 2010.

Tabla 3. Pruebas DFA sobre los logaritmos naturales de las emisiones de CO₂ per cápita.

Prueba DFA sobre variable a nivel $\ln Y_t$					
Forma	Rezagos	DW	CIS	Estadístico τ	Valor crítico 5%
CT	1	2.06	-1.2144	-2.5291	-3.553
C	1	2.09	-1.1458	-0.9983	-2.954
N	2	2.04	-1.0976	0.5256	-1.9517
Prueba DFA sobre variable en primeras diferencias $\Delta \ln Y_t$					
Forma	Rezagos	DW	CIS	Estadístico τ	Valor crítico 5%
CT	1	2.04	-0.9984	-5.4087	-3.5578
C	1	2.04	-1.0985	-5.4607	-2.9571
N	0	2.14	-1.3183	-10.3468	-1.9513

Nota: "CT" con deriva y tendencia, "C" con deriva sin tendencia y "N" sin deriva ni tendencia.

Como se puede ver en la tabla 3, la serie de los logaritmos de las emisiones de CO₂ per cápita también es $I(1)$. Los estadísticos son menores a los valores críticos para una significancia del 5% cuando se aplica la prueba en primeras diferencias, pero no es así con la variable a nivel.

Ley No. 217 de Nicaragua.

Con el fin de capturar la influencia de la Ley 217⁵ en la relación del PIB per cápita y las emisiones de CO₂ por habitantes, en las regresiones se incorporaron los términos $\beta_1 L_t$ (siendo $L=0$ entre 1980 – 1996 y $L=1$ de 1997 a 2014) y $\beta_2 Z_t$ ($Z_t=L_t \ln X_t$). De manera que, si los coeficientes son significativos, tendrán un efecto diferencial.

De esta ley se basan las políticas y/o planes ambientales en Nicaragua, lo cual genera interés, pues influiría en el comportamiento de indicadores de deterioro ambiental; ya que, los agentes económicos deberán ajustar sus actividades a los lineamientos de ésta, para evitar pérdidas de dinero por multas o bien el cese parcial o definitivo de las mismas.

Modelos.

A continuación se presentan las estimaciones de los modelos sin considerar las variables asociadas a la Ley 217.

Tabla 4. Modelos sin considerar L_t y Z_t .

Expresión	α_0	$\ln X_t$	$\ln^2 X_t$	$\ln^3 X_t$	L_t	Z_t	CIS	Festimado	\bar{R}^2
Lineal	4.3987 ***	0.3142 ***	-	-	-	-	-1.2247	56.057 ***	0.6182
Cuadrática	-1.9851	2.2442 **	-0.1451 **	-	-	-	-1.2752	34.2727 ***	0.6618
Cúbica	6.6925	-1.7525	0.4654	-0.0309	-	-	-1.1752	22.1839 ***	0.6515

Nota: * 10%, ** 5% y *** 1% de significancia. La “expresión” hace referencia al mayor grado de $\ln X_t$.

Mejor modelo:

$$\ln \hat{Y}_t = -1.9851 + 2.2442 \ln X_t - 0.1451 \ln^2 X_t \quad (10)$$

Sin considerar a las variables asociadas a la Ley 217, el modelo cuadrático es el más óptimo según el CIS, donde el coeficiente principal tiene signo negativo, además de ser significativo para una significancia del 5%; por tanto, **no se rechaza la CAK**.

⁵ La Ley 217 fue aprobada el 27 de marzo de 1996 y publicada por La Gaceta, Diario Oficial No. 105 el 6 de junio del mismo año.

Según la prueba F el modelo en su conjunto tiene una significancia del 1%. Por otra parte la \bar{R}^2 , indica que las variables independientes explican el 66.18% de la variación de las emisiones de CO₂ per cápita.

A continuación se estima el punto de inflexión igualando a cero la primera derivada de

REICE
165

(10):

$$\frac{\partial \ln \hat{Y}_t}{\partial \ln X_t} = 2.2442 - 0.2902 \ln X_t = 0 \quad (10.1)$$

Obteniendo lo siguiente:

$$\ln X_t = \frac{-2.2442}{-0.2902} \approx 7.7333$$

$$X_t = e^{7.7333} \approx 2\,283$$

Al ser una expresión cuadrática, no es necesario aplicar el criterio de la segunda derivada, pues tendrá solo un punto de inflexión y como el signo del término principal es negativo, se trata de un máximo. Esto sugiere, que según la ecuación (10), las emisiones de CO₂ per cápita decrecerán a partir de los US\$2 283 de ingreso per cápita⁶.

Tabla 5. Modelos considerando la variable binaria y el término de interacción.

Forma	α_0	$\ln X_t$	$\ln^2 X_t$	$\ln^3 X_t$	L_t	Z_t	CIS	F _{estimado}	\bar{R}^2	Nota: * 10%, ** 5% y *** 1% de
Lineal	4.6845 ***	0.2598 ***	-	-	1.4896 **	-0.1918 **	-1.7405	46.9002 ***	0.802	
Cuadrática	-18.4345 ***	7.7788 ***	-0.6093 ***	-	-5.3955 ***	0.8521 ***	-2.1485	61.643 ***	0.8771	
Cúbica	-51.1394 *	23.0757 *	-2.9851	0.1225	-4.8485 ***	0.7717 ***	-2.1065	50.9546 ***	0.8802	

significancia. La "forma" hace referencia al mayor grado de $\ln X_t$.

Mejor modelo:

$$\ln \hat{Y}_t = -18.4345 + 7.7788 \ln X_t - 0.6093 \ln^2 X_t - 5.3955 L_t + 0.8521 Z_t \quad (11)$$

Considerando la variable binaria y su interacción con el logaritmo natural del PIB per cápita, la expresión cuadrática resulta la más óptima, incluso mejor modelo que (10) ya que el CIS de (11) es menor ($-2.1485 < -1.2752$): por tanto, al incorporar dichas variables

⁶ En la monografía el punto de inflexión fue de US\$2 500.

en los análisis de regresión se obtiene un modelo más preciso, se debe recordar que este criterio va acorde con el principio de parsimonia.

Todos los coeficientes individualmente como en su conjunto son significativos al 1% de significancia (prueba F y t): además, como el coeficiente principal con respecto a $\ln X_t$ es negativo **tampoco en este caso se rechaza la CAK**. Por otro lado, la \bar{R}^2 indica que las variables independientes en (11) explican el 87.71% de la variación de las emisiones de CO₂ per cápita.

REICE
166

Como ya se mencionó, los coeficientes de L_t y Z_t son significativos; por tanto, tendrán un efecto diferencial en (11), transformando la expresión en lo siguiente:

$$\ln \hat{Y}_t = -23.83 + 8.6309 \ln X_t - 0.6093 \ln^2 X_t \quad (11.1)$$

El punto de inflexión de (11.1), se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{\partial \ln \hat{Y}_t}{\partial \ln X_t} = 8.6309 - 1.2186 \ln X_t = 0 \quad (11.2)$$

$$\ln X_t = \frac{-8.6309}{-1.2186} \approx 7.0826$$

$$X_t = e^{7.0826} \approx 1\,191$$

Debido al efecto de las variables asociadas a la Ley 217, el punto de inflexión⁷ se alcanza con US\$ 1 191 en términos del PIB per cápita. Comparado con el ingreso por persona del umbral en (10), hay una disminución del 47.83%.

⁷ En la monografía, el punto de inflexión fue US\$1 202. Como se puede apreciar, tanto en el caso del modelo (10) y el (11.1), los umbrales estimados en este artículo no distan demasiado con respecto a los del trabajo monográfico. Ya se advirtió que los datos de las emisiones de CO₂ per cápita utilizados para este artículo difieren en promedio 1% en comparación con los de la monografía.

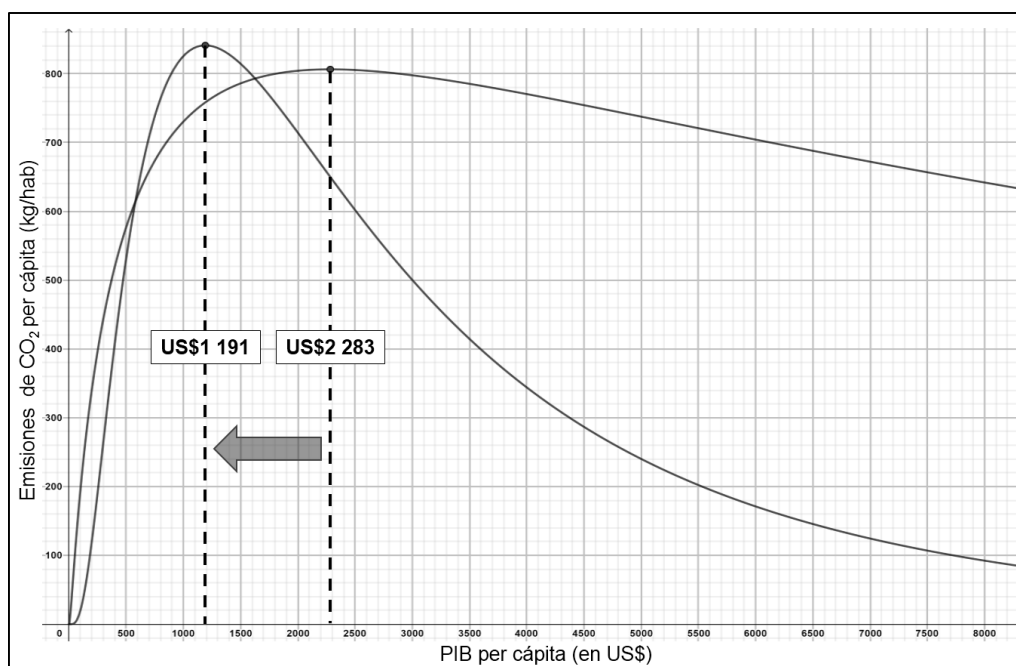


Figura 4. Comportamiento gráfico de modelos (10) y (11.1).

Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 4, si se compara el comportamiento de los gráficos de (10) y (11.1), el segundo se diferencia, por desplazarse hacia la izquierda y a medida que incrementa el PIB per cápita, la curva tiende a ser más pequeña, como consecuencia de incorporar las variables asociadas a la Ley 217 en la relación.

Contrastes.

Las pruebas se realizaron al modelo (11), debido a que es el de interés y, además, resultó ser el modelo más óptimo de todos los estimados.

Anteriormente se mencionó que las variables de los logaritmos del PIB per cápita y de las emisiones de CO₂ por habitante, tienen el mismo orden de integración: $I(1)$. Sin embargo, ello no implica que ambas series cointegren; por ende, se realizó el procedimiento de Engle – Granger, del cual solo falta realizar la prueba DFA sobre los residuos de (11).

Tabla 6. Prueba DFA sobre residuos del modelo (11).

Prueba DFA sobre errores a nivel					
Forma	Rezagos	DW	CIS	Estadístico τ	Valor crítico 5%
C	0	1.97	-2.4433	-5.0344	-4.4152

Nota: “C” expresión con deriva sin tendencia. El valor crítico utilizado en esta prueba de cointegración, es el estimado por MacKinnon (2010) para 5 variables (4 independientes más una dependiente) y una significancia del 5%.

REICE
168

En la tabla 6 se puede apreciar, que el estadístico es menor al valor crítico para una significancia del 5% en la prueba aplicada sobre los errores a nivel; por tanto, son estacionarios $I(0)$. Entonces, las variables están cointegradas⁸ y la expresión (11) determina su relación a largo plazo.

Tabla 7. Contrastes de heterocedasticidad, autocorrelación y normalidad.

Problema	Prueba	Estadístico	Valor crítico 5%	Sí/No
Heterocedasticidad	White	12.27	14.067 (gl=7)	No
Autocorrelación	Breusch - Godfrey	0.3604	3.841 (gl=1)	No
No normalidad	Jarque - Bera	0.5181	5.991 (gl= 2)	No

Nota: La prueba de autocorrelación de Breusch – Godfrey, fue realizada con 1 rezago en los errores.

La tabla 7 denota que no hay evidencia de autocorrelación, ni de heterocedasticidad. Además, los errores tienen una distribución normal; por tanto, los coeficientes del modelo son eficientes (varianza mínima); asimismo, son los mejores que se pueden estimar por medio del método de MCO.

⁸ Como añadidura, si se considera la prueba de Durbin – Watson (DW) sobre la regresión cointegrante (11), también proporciona evidencia empírica de que las variables cointegran, pues el estadístico DW en dicho modelo: 1.75, es mayor a los valores críticos al 5% ($=0.386$) y al 1% ($=0.511$) de significancia. Por otra parte, si bien hay cointegración según el procedimiento de Engle – Granger, no se realizó el Mecanismo de Corrección de Errores (MCE); a razón de que la hipótesis de la CAK es a largo plazo, por tanto, no hay necesidad ni interés de estimar la relación a corto plazo.

Conclusiones

Dado los resultados en los análisis regresión, al considerar a las variables asociadas a la Ley 217 en la relación de las emisiones de CO₂ per cápita y el PIB por habitante, no se rechaza a la CAK para el caso de Nicaragua **en el período de 1980 – 2014**. Además, las pruebas aplicadas, dan evidencia para afirmar que existe una regresión cointegrante (descartando una relación espuria), cuyos estimadores tienen la cualidad de ser eficientes.

REICE
169

El umbral en dicho modelo se alcanza con un PIB per cápita de US\$1 191, el país supera ese nivel desde el 2006 (US\$1 199); por tanto, el comportamiento de la curva sugiere que a partir del año mencionado las emisiones de CO₂ per cápita deberían decrecer.

En el modelo (11.1), el punto de inflexión es menor al de (10). Esto se explica, por la influencia de leyes (como la Ley 217) formuladas con el objetivo de preservar y conservar el medio ambiente, pues para una sociedad debería ser más barato mantener o mejorar la calidad medioambiental, porque los daños se atenuarían y evidentemente la remediación o recuperación se lograría con un menor costo. Entonces, si los organismos o instituciones encargadas de que se cumplan las pautas establecidas en las políticas ambientales son eficaces, en términos de la CAK, repercutirá en una curva probablemente desplazada hacia la izquierda y más pequeña (a largo plazo), debido a un menor nivel de ingresos por persona para alcanzar el punto de inflexión comparado al que se necesitaría si éstas no existieran o no tuvieran efecto alguno en la evolución de indicadores de deterioro ambiental.

Los estudios realizados en otros países generalmente no toman en cuenta las políticas ambientales, debido a la dificultad de separar su efecto de la influencia de otras variables que dan lugar a una curva ambiental en forma de U invertida. Desde luego, en este artículo las variables seleccionadas para capturar aproximadamente la influencia de la Ley 217 van asociadas a los años desde que entró en vigencia y cómo afectaba a los coeficientes PIB per cápita (en logaritmos naturales), pero se deja de lado otros factores (se omitieron en las regresiones). Por tanto, estos resultados, se deben interpretar en

términos de eficacia y no de eficiencia, ya que, para demostrar lo segundo, se debe analizar de forma exhaustiva los artículos de la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y sus reformas en cuanto a sus implicaciones (con relación a aspectos ecológicos y/o económicos), así como la capacidad de los organismos gubernamentales para llevar a cabo las obligaciones impuestas por dicha ley.

Es menester señalar, que si bien para Nicaragua no se rechaza la CAK en el período en estudio, no se debe suponer este comportamiento como definitivo, o sea, que así se mantendrá “siempre”. Pues, actualmente el país no tiene un alto nivel de industrialización. Entonces, si el sector industrial continúa creciendo, y se llega a alcanzar cierto nivel considerable de desarrollo económico, se debe evaluar o corroborar nuevamente el comportamiento de U invertida para las emisiones de CO₂ per cápita u otros indicadores.

Referencias Bibliográficas

- Arostegui, A., & Baltodano, J. (2019). *Evaluación empírica de la Curva Ambiental de Kuznets para las emisiones de dióxido de carbono per cápita considerando el efecto de la Ley No. 217 – Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en Nicaragua, en el período de 1980-2014*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.
- Banco Central de Nicaragua. (2010). *Nicaragua en cifras* [Base de datos]. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/2010/nicaragua_cifras.pdf.
- Banco Central de Nicaragua. (2013). *Nicaragua en cifras* [Base de datos]. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/2013/nicaragua_cifras.pdf.
- Banco Central de Nicaragua. (2015). *Nicaragua en cifras* [Base de datos]. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/2015/nicaragua_cifras.pdf.

- Banco Central de Nicaragua. (2017). *Nicaragua en cifras* [Base de datos]. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/2017/nicaragua_cifras.pdf.
- Banco Central de Nicaragua. (s.f.). *Principales indicadores macroeconómicos* [Base de datos]. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/estadisticas/anuario_estadistico/excel/Principales_Indicadores.xlsx.
- Dornbusch, R., Fischer, S., & Startz, R. (2009). *Macroeconomía* (10ma. ed.). México D.F: McGraw Hill Educación.
- Gitli, E., & Hernández, G. (2002). *La existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales*. Recuperado de <http://www.grupochorlavi.org/php/doc/documentos/curvakuznetsambiental.pdf>.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1995). Economic Growth and the Environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110 (2), 353-377. Recuperado de http://qed.econ.queensu.ca/working_papers/papers/qed_wp_1227.pdf.
- Gujarati, D., & Porter, D. (2010). *Econometría* (5ta. ed.). México D.F: McGraw Hill Educación.
- MacKinnon, J. (2010). Critical Values for Cointegration Tests. *Queen's Economics Department, Working Paper No. 1227*. http://qed.econ.queensu.ca/working_papers/papers/qed_wp_1227.pdf.
- Medina, J. (2010). La Dieta del Dióxido de Carbono (CO₂). *Conciencia Tecnológica*, (39), 50-53. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94415753009.pdf>.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (2010). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. Managua: Autor.

Panayotou, T. (2003). *Economic growth and the environment*. Recuperado de <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/ead/sem/sem2003/papers/panayotou.pdf>.

Rodríguez, T. (2014). Ajuste estructural y desarrollo rural en Nicaragua. Nitlapán-UCA. *Cuaderno de investigación #16*. Recuperado de http://repositorio.uca.edu.ni/402/1/cuaderno_16.pdf.

REICE
172

Universidad de Yale. (2018). *2018 Environmental Performance Index*. Recuperado de <https://epi.yale.edu/downloads/epi2018reportv06191901.pdf>.

Vargas, O., & García, L. (s.f.). *Nicaragua y la Crisis Financiera Actual: Efecto y Reacción en la lucha contra la Pobreza*. Recuperado de <http://xivrem.ujaen.es/wp-content/uploads/2011/11/92-R-121M534.pdf>.

Anexos.

Años	Obs	PIB Per cápita (US\$)	CO2 Per cápita (Tm/hab)	CO2 Per cápita (kg/hab)	Ley 217
1980	1	640.083807	0.62098888	620.988884	0
1981	2	732.732435	0.63733297	637.332968	0
1982	3	793.770762	0.61238312	612.383119	0
1983	4	711.97836	0.56404085	564.040847	0
1984	5	767.654	0.50833028	508.330277	0
1985	6	676.465914	0.53320813	533.208135	0
1986	7	580.844551	0.59180279	591.80279	0
1987	8	575.323415	0.62372384	623.723838	0
1988	9	365.959863	0.56259603	562.596029	0
1989	10	252.284622	0.36194372	361.943718	0
1990	11	366.644987	0.61066378	610.663784	0
1991	12	378.781997	0.47002157	470.021567	0
1992	13	412.875558	0.54864118	548.641177	0
1993	14	394.627878	0.51605099	516.050991	0
1994	15	653.071486	0.55740901	557.409005	0
1995	16	685.163776	0.59747968	597.479679	0
1996	17	698.671872	0.60632304	606.323043	0
1997	18	698.356086	0.65096099	650.960993	1
1998	19	724.476839	0.69671288	696.712877	1
1999	20	746.020128	0.72663473	726.634729	1
2000	21	772.469165	0.74218147	742.181468	1

2001	22	792.899156	0.7704072	770.407197	1
2002	23	767.639756	0.77354154	773.541536	1
2003	24	772.00593	0.83357949	833.579486	1
2004	25	829.793866	0.82499956	824.999557	1
2005	26	893.875216	0.79425854	794.258544	1
2006	27	1199.66466	0.81004679	810.046787	1
2007	28	1300.53493	0.82391891	823.918906	1
2008	29	1470.38163	0.78031849	780.318493	1
2009	30	1418.46048	0.78247701	782.477009	1
2010	31	1478.7164	0.77885103	778.851026	1
2011	32	1629.97182	0.82682445	826.824454	1
2012	33	1734.88004	0.77231925	772.319251	1
2013	34	1790.42198	0.75064438	750.644376	1
2014	35	1916.76989	0.79157632	791.576323	1

Anexo 1. Datos utilizados.

Elaboración propia basada en datos del Banco Central de Nicaragua y el Banco Mundial (Fecha de consulta: 6 de junio del 2020).

Anexo 2. Estimación y errores del modelo (11).

Codificación de variables:

LY= Logaritmos naturales de las emisiones de CO₂ per cápita (kg/hab).

LX= Logaritmos naturales del PIB per cápita de Nicaragua (en US\$).

L= Variable binaria que representa la Ley 217 (0 de 1980 – 1996 y 1 de 1997 – 2014).

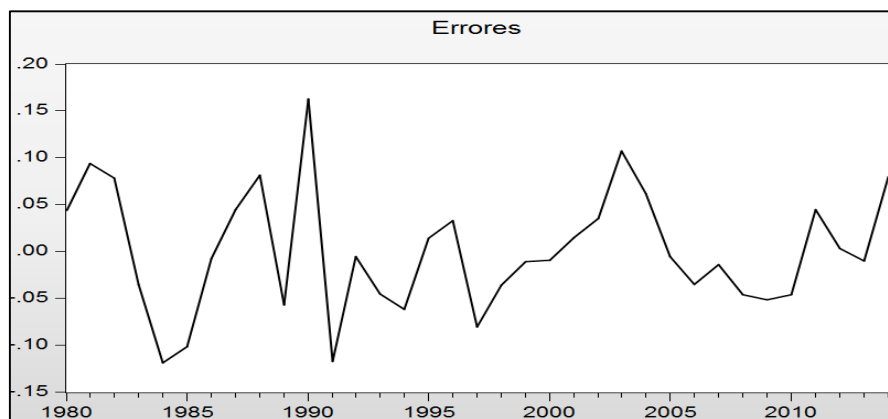
Z= Interacción (producto) entre L y LX.

C= constante.

Dependent Variable: LY Method: Least Squares Sample: 1980 2014 Included observations: 35				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-18.43448	5.187940	-3.553334	0.0013
LX	7.778835	1.684846	4.616942	0.0001
LX^2	-0.609344	0.136478	-4.464776	0.0001
L	-5.395496	1.606729	-3.358063	0.0021
Z	0.852100	0.243524	3.499042	0.0015
R-squared	0.891529	Mean dependent var	6.489452	
Adjusted R-squared	0.877066	S.D. dependent var	0.197506	
S.E. of regression	0.069249	Akaike info criterion	-2.370646	
Sum squared resid	0.143864	Schwarz criterion	-2.148453	
Log likelihood	46.48630	Hannan-Quinn criter.	-2.293945	
F-statistic	61.64304	Durbin-Watson stat	1.750892	
Prob(F-statistic)	0.000000			

REICE
174

Elaboración propia en EViews 10.



Elaboración propia en EViews 10.

Anexo 3. Prueba de White sobre errores del modelo (11).

Heteroskedasticity Test: White				
F-statistic	2.082143	Prob. F(7,27)	0.0806	
Obs*R-squared	12.27000	Prob. Chi-Square(7)	0.0920	
Scaled explained SS	8.087836	Prob. Chi-Square(7)	0.3249	
Test Equation:				
Dependent Variable: ERRORES^2				
Method: Least Squares				
Sample: 1980 2014				
Included observations: 35				
Collinear test regressors dropped from specification				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-23.26450	8.144517	-2.856462	0.0081
LX^2	-1.899282	0.661730	-2.870176	0.0079
LX*LX^2	0.104042	0.036209	2.873390	0.0078
LX*L	-12.15256	9.571684	-1.269637	0.2150
LX*Z	1.976041	1.395620	1.415888	0.1682
LX	11.52907	4.024332	2.864840	0.0080
LX^2*Z	-0.107119	0.068284	-1.568739	0.1284
L^2	24.92393	22.00139	1.132834	0.2672
R-squared	0.350571	Mean dependent var	0.004110	
Adjusted R-squared	0.182201	S.D. dependent var	0.005586	
S.E. of regression	0.005052	Akaike info criterion	-7.540464	
Sum squared resid	0.000689	Schwarz criterion	-7.184956	
Log likelihood	139.9581	Hannan-Quinn criter.	-7.417742	
F-statistic	2.082143	Durbin-Watson stat	1.736198	
Prob(F-statistic)	0.080627			

Elaboración propia realizada en EViews 10.

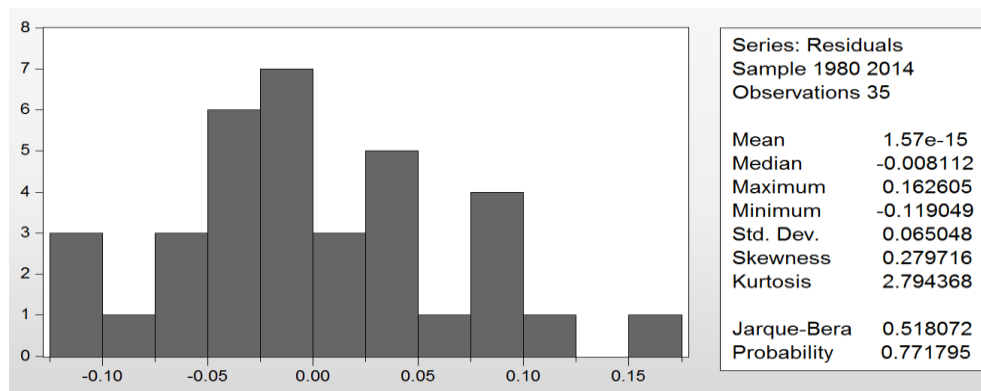
Anexo 4. Prueba Breusch – Godfrey sobre errores del modelo (11).

Dependent Variable: ERRORES				
Method: Least Squares				
Sample (adjusted): 1981 2014				
Included observations: 34 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.545875	5.566796	-0.098059	0.9226
LX	0.176321	1.805066	0.097681	0.9229
LX^2	-0.014257	0.145977	-0.097667	0.9229
L	-0.175496	1.705514	-0.102899	0.9188
Z	0.026836	0.258260	0.103913	0.9180
ERRORES(-1)	0.106746	0.202825	0.526294	0.6028
R-squared	0.010558	Mean dependent var	-0.001282	
Adjusted R-squared	-0.166128	S.D. dependent var	0.065576	
S.E. of regression	0.070814	Akaike info criterion	-2.298734	
Sum squared resid	0.140410	Schwarz criterion	-2.029376	
Log likelihood	45.07847	Hannan-Quinn criter.	-2.206875	
F-statistic	0.059756	Durbin-Watson stat	1.957905	
Prob(F-statistic)	0.997396			

Elaboración propia en EViews 10.

Esta prueba no fue realizada de manera automática en el programa EViews 10, se estimó la regresión auxiliar (con 1 rezago de los errores como variable independiente) a través del comando de mínimos cuadrados, tal y como plantea la teoría. Obteniendo así un estadístico $(n-p)R^2 = (35-1)(0.0106) = 0.3604$ aproximadamente, el cual tiene un valor p asociado de 0.5483 (en la distribución $\chi^2_{gl=1}$, con cola superior), por lo que no hay evidencia de autocorrelación (según el criterio: valor p > 0.05).

Anexo 5. Prueba Jarque – Bera sobre errores del modelo (11).



Elaboración propia en EViews 10.